Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 33, No. 2, Summer 2019, p. 205-220

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۲۲۰-۲۰۵

ارزیابی هزینه- اثربخشی سیاست اعطای کمک بلاعوض سامانه‌های آبیاری تحت فشار در حفاظت از منابع آب زیرزمینی

محمد علی روشن‌فر[۱]- حمید امیرنژاد[۲]- حامد نجفی علمدارلو[۳]- بیژن نظری[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۸

چکیده

برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر موجب بدتر شدن وضعیت این منابع ارزشمند شده است. یکی از دشت‌های ممنوعه کشور که شاهد افت شدید سطح تراز آب زیرزمینی بوده است، دشت قزوین می‌باشد. امروزه سیاست‌های مختلفی به منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی در جهان رایج است. از جمله سیاست‌هایی که در کشور ما نیز برای صرفه‌جویی آب آبیاری و حفاظت منابع آب تأکید زیادی بر آن شده و در قانون برنامه پنجم توسعه نیز بدان اشاره شده است، اعطای کمک بلاعوض سامانه‌های آبیاری تحت فشار می‌باشد. در مطالعه حاضر تلاش شده است با تشکیل یک مدل ریاضی بهینه‌سازی پویا و معادله تعادل آب زیرزمینی در آن تأثیر اجرای این سیاست بر صرفه‌جویی آب توسط کشاورزان و حفاظت آب زیرزمینی در دشت قزوین ارزیابی گردد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش سهم پرداخت کمک بلاعوض سامانه آبیاری و در نتیجه بهبود کارایی آبیاری، مصرف کل آب سطحی و زیرزمینی در کل منطقه کاهش یافته و موجب صرفه‌جویی آب می‌شود. این نتیجه‌گیری برای پمپاژ آب زیرزمینی نیز صادق بود. لذا، اجرای این سیاست برای کاهش پمپاژ آب اثربخش تشخیص داده شد. از سوی دیگر، به علت کاهش نفوذ آب به عمق با افزایش سهم پرداخت دولت، کسری ذخیره آبخوان کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، اجرای این سیاست منجر به حفاظت از منابع آب زیرزمینی نمی‌شود و بررسی معیار هزینه- اثربخشی نشان داد که این سیاست برای حفاظت آب زیرزمینی اثربخش نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت فشار، بهینه‌سازی پویا، دشت قزوین، سیاست کمک بلاعوض، هزینه- اثر بخشی

مقدمه

کمبود آب در کشور یک مسأله جدی است. وجود شکاف میان عرضه و تقاضای آب و چاره‌اندیشی برای آن به یکی از اصلی‌ترین مسائل حاکمیت تبدیل شده است. دولت‌های مختلف برای کاهش این شکاف تدابیر متعددی را اتخاذ کرده‌اند. نگاهی به آمارها و گزارشات حاکی از بهره‌روی پایین استفاده از آب به خصوص در بخش کشاورزی می‌باشند. حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی حدود ۵۰ درصد حجم منابع آبی تجدیدپذیر محاسبه شده است (۲۰). عباسی و همکاران (۱) متوسط کارایی آب در مزرعه در کشور را ۵۶ درصد و با احتساب کارایی ۸۵ درصد انتقال و توزیع آب، میانگین کارایی آب در بخش کشاورزی را ۴۸ درصد محاسبه نمودند. به اعتقاد کارشناسان از آنجایی‌که بخش قابل توجهی از آب حین مصرف هدر می‌رود، مؤثرترین و کاربردی‌ترین راه برای سازگاری با کمبود آب برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است (۲). در این راستا بر استفاده از سامانه‌های تحت فشار و مدرن آبیاری برای بهبود کارایی مصرف آب تأکید زیادی می‌شود.

برای تعادل بخشی به منابع آب و جبران کمبود آب لازم است که دولت‌ها سیاست‌هایی را برنامه‌ریزی کنند. در این راستا، اتخاذ سیاست های حمایتی در این بخش ضرورتی اجتناب ناپذیر است (۱۱). از جمله ابزارهای اقتصادی مدیریت تقاضای آب کشاورزی مشوق‌های بهبود کارایی آبیاری است. امروزه سیاست‌های پرداخت بابت توسعه تکنولوژی‌های مدرن آبیاری مورد استقبال زیادی قرار گرفته است و به طور فراوان در ادبیات علمی جهان به عنوان یک ابزار سیاستی به منظور تشویق کشاورز به صرفه‌جویی آب در سطح مزرعه از آن یاد

۱ و ۲- به ترتیب داوطلب دکتری تخصصی و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: amirnejad@yahoo.com)
۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
DOI: 10.22067/jead2.v0i0.80152

شده است (۲۹).

در کشور ما نیز اخیراً به سیاست‌های مشوق سامانه‌های نوین آبیاری توجه ویژه‌ای شده است. به همین خاطر در قوانین و اسناد بالادستی کشور به طور خاص بر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری تأکید شده است. به عنوان مثال، ماده ۳۱ از بخش ۷ قانون برنامه ششم توسعه جمهوری اسلامی برای حصول اهداف بندهای ششم و هفتم سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی در پایان برنامه شاخص‌های کمی را بیان داشته است که از جمله افزایش سالانه ۵۰۰ هزار هکتار مساحت زمین‌های مجهز به سامانه‌های نوین آبیاری و شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی می‌باشد. بند «ب» از ماده ۳۵ بخش ۸ قانون برنامه ششم توسعه نیز دولت را مکلف به توسعه روش‌های آبیاری نوین به منظور مقابله با بحران کم‌آبی، پایداری و افزایش تولید در بخش کشاورزی، تعادل بخشی به سفره‌های زیرزمینی و ارتقای بهره‌وری و جبران تراز آب نموده است و در تبصره آن دولت موظف شده است که حداقل هشتاد و پنج درصد (۸۵٪) هزینه‌های توسعه روش‌های آبیاری نوین را در قالب بودجه سالانه تأمین و پرداخت کند (۲۵). از این رو، باور عمومی بر این است که با سرمایه‌گذاری در بهبود کارایی آبیاری می‌توان به صرفه‌جویی آب و در نتیجه بهتر شدن وضع منابع آب زیرزمینی کمک کرد. اما تأثیر این سرمایه‌گذاری و مشوق‌ها بر صرفه جویی آب و حفاظت از منابع آب زیرزمینی کمتر مورد مطالعه بوده است.

مطالعات مختلفی در کشور به مدیریت منابع آب زیرزمینی و بررسی و اثر اتخاذ سیاست‌ها بر این منابع پرداخته‌اند. از این جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره داشت: بلالی و همکاران (۴) نقش قیمت گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب زیر زمینی را در دشت بهار همدان بررسی کردند و نتیجه گرفتند که افزایش در قیمت آب می‌تواند منجر به بهبود کارایی آب آبیاری و افزایش عمر آبخوان گردد. آنها پیشنهاد کردند که این افزایش در قیمت آب بایستی همراه با سیاست‌های مکمل اقتصادی صورت بگیرد تا بتواند کاهش درآمد کشاورز را به حداقل برساند. باریکانی و همکاران (۵) بهره‌برداری بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت قزوین بررسی کرده و تغییرات الگوی کشت بهینه را تحت سناریوهای مختلف نرخ بهره بررسی کردند. آنها میزان اضافه برداشت آب زیرزمینی در شرایط استفاده بهینه از آبخوان را سالانه ۱۳۵ میلیون متر مکعب محاسبه کردند. نجفی علمدارلو و همکاران (۱۹) به ارزیابی اقتصادی سیاست قیمت‌گذاری آب زیرزمینی در دشت ورامین پرداخته نشان دادند که افزایش در قیمت آب می‌تواند منجر به کاهش استخراج آب زیرزمینی شده و بیلان آب زیرزمینی را بهبود دهد. آنها استفاده از یارانه سامانه آبیاری مدرن را برای بهبود کارایی پیشنهاد کردند. وحدت ادب و بلالی (۳۱) تأثیر سیاست‌های قیمت‌گذاری آب آبیاری و اعطای تسهیلات مالی دولت بر پذیرش تکنولوژی آبیاری تحت فشار در دشت بهار همدان را به روش پویایی سیستم مطالعه کرده و نتیجه گرفتند که افزایش قیمت آب سودآوری کشت به روش سامانه آبیاری تحت فشار را نسبت به سامانه آبیاری سنتی افزایش می دهد. همچنین افزایش اعطای تسهیلات مالی برای استفاده از آبیاری تحت فشار پذیرش تکنولوژی آبیاری تحت فشار را افزایش می‌دهد. زارع و همکاران (۳۸) به منظور بررسی توسعه سامانه‌های مدرن آبیاری بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی خراسان رضوی معادله تعادل آب‌های زیرزمینی منطقه را شبیه‌سازی نمودند. بر این اساس توسعه سامانه‌های نوین آبیاری به تنهایی به تعادل آب‌های زیرزمینی منجر نخواهد شد. بلکه بهبود راندمان آبیاری و کنترل سطح زیر کشت همزمان باید تحقق یابد. باقری و همکاران (۳) در بررسی سیاست قیمت‌گذاری آب زیرزمینی را بر حفظ و پایداری آبخوان مهیار شمالی حوزه زاینده رود نتیجه گرفتند که با اعمال سیاست قیمت‌گذاری آب و گسترش سطح زیر کشت سامانه آبیاری تحت فشار متغیرهای هیدرولوژیکی بهبود می‌یابند و در طول زمان آب بیشتری در سال‌های انتهایی برنامه‌ریزی باقی خواهد ماند.

در ادبیات علمی جهان نیز مطالعات متعددی به بررسی سیاست‌های حفاظت منابع آب زیرزمینی پرداخته‌اند. از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: هافکر و هیتلسی (۱۲) در مقایسه سیاست‌های بالقوه صرفه‌جویی آب بیان نمودند که کشاورزان سطح زیر کشت را در واکنش به یارانه تکنولوژی آبیاری افزایش می‌دهند و در نتیجه آب بیشتری بکار می‌گیرند. دینگ و پترسون (۷) اثر تکنولوژی آبیاری را بر صرفه‌جویی آب مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند که کاهش مصرف آب در نتیجه تغییر سامانه آبیاری سنتی به تحت فشار می‌تواند اتفاق بیافتد. نتایج ارزیابی هزینه–اثربخشی آنها نشان داد که در مناطق با ضخامت اشباع پایین خاک سیاست پرداخت تشویقی کاراتر از سیاست سهم پرداخت می‌باشد و بالعکس.

وارد و پولیدو ولازکوئز (۳۳) در تحلیلی از اثرات سیاست یارانه برای تطبیق با سامانه آبیاری قطره‌ای در حوزه آبریز گرندریوی مکزیک نتیجه گرفتند که برداشت آب به هیچ وجه با ثابت ماندن سطح زیر کشت نسبت به حالت عدم اجرای سیاست کاهش نمی‌یابد. اگر کل سطح زیر کشت افزایش یابد، برداشت آب حتی افزایش نیز می‌یابد. فیفر و لین (۲۳) در بکارگیری تکنولوژی آبیاری کاراتر بر کاهش استخراج آب زیرزمینی با استفاده از مدل اقتصادسنجی معادلات همزمان به این نتیجه رسیدند که سیاست یارانه تکنولوژی اثر معناداری بر صرفه‌جویی آب ندارد و انتخاب تکنولوژی آبیاری کاراتر برای یک محصول منجر به کاهش آب مصرفی آن محصول نمی‌شود. داگنینو و وارد (۶) اثر یارانه‌های حفاظت آب را بر مصرف آب در حوزه گرندریوی نیومکزیک بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اگرچه این یارانه‌ها درآمد کشاورزان را افزایش می‌دهد، ولی توسعه

آبیاری قطره‌ای منجر به افزایش مصرف آب می‌گردد. زو و همکاران (۳۹) تحلیل هزینه- اثربخشی تکنولوژی‌های آبیاری مدرن را در واکنش به تغییر اقلیم در چین محاسبه کردند. آنها با توجه به اهداف هزینه، سازگاری و تخفیف تغییر اقلیم چهار نوع سامانه‌های آبیاری را ارزیابی کردند. لسینا و همکاران (۱۵) مدرن شدن آبیاری و حفاظت آب را در اسپانیا در یک چارچوب مفهومی بررسی کردند و تغییر بهره‌وری یک برنامه آبیاری را محاسبه کردند. نتایج آنها نشان داد که مدرن‌سازی آبیاری به کاهش مصرف آب منجر خواهد شد. وارد (۳۲) اثر اقتصادی برنامه یارانه حفاظت از کشاورزی آبیاری را در حوزه آبریز گرندریو بر تکنولوژی آبیاری، ترکیب محصولات و منبع آب بررسی کرده و نشان داد که این مشوق‌ها میزان مصرف آب را می‌تواند کاهش دهد و در عین حال میزان تولید نیز کاهش می‌یابد. کوئینتانا اشول و پترسون (۲۶) اثر یارانه‌های تکنولوژی آبیاری را در یک آبخوان بر منابع آب زیرزمینی مشترک و در حال تخلیه با تشکیل یک مدل تحلیلی کنترل بهینه بررسی نموده و نقش بالقوه یارانه‌های سرمایه‌گذاری آبیاری را در بهبود رفاه را نتیجه گرفتند. چرا که دخالت دولت برای این سیاست منافع خالص را طی زمان افزایش می‌دهد. ملک و همکاران (۱۶) بررسی کردند که چه موقع کشاورزان در تکنولوژی آبیاری کاراتر برای سازگاری با کم آبی سرمایه‌گذاری می‌کنند. بر این اساس سرمایه‌گذاری در سیستم آبیاری کاراتر منافع اقتصادی منطقه را افزایش می‌دهد و در شرایط خشکسالی شدید منافع بهبود کارایی از هزینه‌های آن فراتر نمی‌رود.

یکی از مناطق حاصلخیز کشاورزی کشور دشت قزوین است که در استان قزوین واقع شده است. محدوده مطالعاتی قزوین با کد ۴۱۰۶ شامل زمین‌های دشت و ارتفاعات است. بیش از ۶۰ درصد زمین‌های زراعی دشت قزوین به کشت گندم و جوی آبی و دیم اختصاص دارد. به طوری‌که در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در حدود ۲۲/۳ درصد زمین‌های زراعی دشت قزوین به کشت گندم آبی، ۲۶ درصد گندم دیم و ۱۱/۷ درصد کشت جو آبی و ۱/۳ درصد کشت جوی دیم اختصاص داشته و مابقی به کشت سایر محصولات زراعی اختصاص داشته است (۱۸) و در حدود ۳۰ درصد زمین‌های قابل کشت دشت قزوین سالانه نیز به صورت آیش رها می‌شود. کل محدوده مطالعاتی قزوین مساحتی بالغ بر ۹۵۵۱۶۷ هکتار دارد که در حدود ۵۰۵۹۳۰ هکتار آن دشت و مابقی ارتفاعات است (۲۶). در محدوده دشت حدود ۷۸/۶ درصد مصارف کشاورزی از منبع زیرزمینی و مابقی از جریانات سطحی تأمین می‌شود. در حدود ۶۰۰۰۰ هکتار از زمین‌های زراعی دشت قزوین طریق شبکه مدرن آبیاری مشروب می‌شود. شکل (۱) محدوده دشت قزوین و شبکه آبیاری را در استان قزوین نشان می‌دهد.

دشت قزوین دارای یک آبخوان آبرفتی به مساحت ۳۹۵۲۴۰ هکتار است که یکی از بزرگترین آبخوان‌های آبرفتی کشور است و ضخامت لایه اشباع آن در سال ۱۳۹۰ به طور متوسط ۹۴ و حجم کل ذخیره آبخوان در سال ۱۳۸۶در حدود ۱۵۱۷۷ میلیون متر مکعب برآورد شده است (۲۰). به دلیل برداشت‌های بی‌رویه حجم ذخیره این آبخوان طی سال‌های اخیر کاهش قابل توجهی یافته و از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ به طور متوسط سالانه حدود ۳۲۷ میلیون متر مکعب کاهش یافته است (۲۰). اگرچه تعداد چاه‌های آب در دشت قزوین در سال های اخیر افزایش یافته، اما میزان آبدهی این چاه‌ها به میزان قابل توجهی کاهش داشته است. به طوری‌که تعداد چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در دشت قزوین به ترتیب از ۲۶۹۷ و ۲۲۹۸ در سال ۱۳۸۱ به ۴۰۷۵ و ۳۹۸۳ در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است، اما میزان متوسط آبدهی چاه‌های عمیق از ۴۳/۲ به ۲۵/۲ و نیمه عمیق از ۴/۹ به ۲/۵ لیتر در ثانیه کاهش یافته است. میزان تخلیه از چاه‌های عمیق سالیانه روند کاهشی داشته است (۲۰). همچنین سطح تراز آب زیرزمینی به شدت افت پیدا کرده است و این افت آثار نامطلوبی در منطقه به دنبال داشته است. از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۹۵ سطح تراز آب زیرزمینی به طور متوسط سالانه حدود ۱/۳۸ متر کاهش داشته است (۲۰). نمودار آبنمود آبخوان دشت قزوین نشان می‌دهد که در بازه بلندمدت ۴۰ ساله سطح تراز آب زیرزمینی تقریباً ۴۰ متر افت داشته است (۲۵). لذا، دشت قزوین به عنوان منطقه مورد مطالعه این تحقیق انتخاب گردید.

از بررسی ادبیات این موضوع می‌توان به این نتیجه رسید که مطالعات کمی به اثر پرداخت‌ها و یارانه‌ها بابت سرمایه‌گذاری در سامانه‌های آبیاری نوین پرداخته‌اند و این مطالعات عمدتاً بر پذیرش این سامانه‌ها یا میزان صرفه‌جویی آب تکیه داشته‌اند. اما هیچ مطالعه‌ای اثر این سیاست‌ها را بر تعادل آب‌های زیرزمینی بررسی نکرده است. لذا، با توجه به اینکه امروزه تأکید زیادی بر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری می‌شود و دولت‌ها موظف به اجرای برنامه اعطای کمک بلاعوض برای تشویق کشاورزان در سرمایه‌گذاری در این سامانه‌ها شده‌اند، هدف اصلی این تحقیق پاسخ به این سؤال است که آیا اساساً با اتخاذ این سیاست می‌توان موجب حفظ و پایداری منابع آب زیرزمینی در حال تخلیه شد؟

مواد و روش‌ها

از آنجایی که سرمایه‌گذاری برای بهبود کارایی آبیاری یک تصمیم بلندمدت است، برای بررسی اثر سیاست‌ها بر انتخاب تکنولوژی مدل ریاضی بهینه‌سازی پویا مناسب می‌باشد. تابع هدف مدل ریاضی این تحقیق شامل بیشینه‌سازی ارزش فعلی سود خالص کشت محصولات در منطقه در یک افق برنامه‌ریزی ۲۰ ساله می‌باشد.

از آنجایی که در حدود ۳۰ درصد اراضی واقع در این منطقه از طریق شبکه مدرن مدرن آبیاری و بخش عمده دیگر از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق کشاورزی آبیاری می‌شوند. از این رو، از

نظر منبع تأمین آب، منطقه را بـه دو بخـش محـدوده شـبکه مـدرن آبیاری و مابقی دشت که از چـاه‌هـای عمیـق و نیمـه عمیـق آبیـاری می‌شوند، می‌توان تفکیک نمود. لذا، تابع هدف مدل بهینه‌سازی شامل حداکثرسازی ارزش منافع فعلی خالص کشت محصـول (NPV^n) در زمین‌های واقع شده در محـدوده شـبکه مـدرن آبیـاری ($Area^n$) و ارزش منافع فعلی خالص کشـت محصـول (NPV^p) در زمیـن‌هـای استفاده کننده از آب چـاه‌هـای عمیـق و نیمـه عمیـق ($Area^p$) در مابقی دشت قزوین به صورت رابطه (۱) در نظر گرفته شد. آبیـاری در هر دو منطقه بر ذخیره آبخوان و همچنین بر هزینه‌های پمپاژ آب اثـر می‌گذارد.

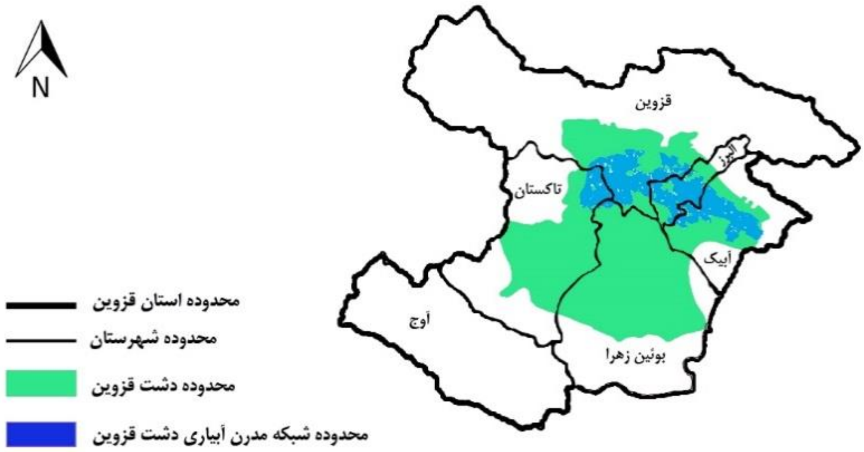
$$Max\ Z = NPV^n + NPV^p \quad (۱)$$

$$NPV^n = \sum_{t=1}^{T} \beta \cdot NB_t^{\ n}$$

$$NPV^p = \sum_{t=1}^{T} \beta \cdot NB_t^{\ p}$$

که در آن، i نرخ تنزیل است که معادل متوسط نرخ بهره بانکی و برابر ۱۵ درصد در نظر گرفته شد، β عامل تنزیل و برابر $\frac{1}{(1+i)^t}$ است، NB منافع خالص کشت محصول، t دوره زمانی سالانه و T افق زمانی است. در نامگذاری متغیرهای و پارامترهـا n معـرف محـدوده شـبکه آبیاری و p معرف مابقی محدوده دشت قزوین به جز محـدوده شـبکه آبیاری می‌باشد که از این به بعد تحت عنوان دشت نامیده می‌شود.

تابع هدف مدل برای بیشنه‌سازی کشت دو محصول جـو و گنـدم به عنوان محصولات عمده زراعی دشت منطقه به صـورت رابطـه (۲) بازنویسی می‌شود:



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه شامل محدوده شبکه مدرن آبیاری و دشت قزوین در استان قزوین

Figure 1- The location of the study area includes the area of modern irrigation network and Qazvin plain in Qazvin provinc

$$Max\ \pi = \beta \cdot \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\Big(P_c \cdot Y_{ct}^{n} - C_c^{p} - \big(\tilde{C}_t^{w.can} + C^{pump.sys}\big)\cdot W_{ckt}^{ca.n} - \big(C_t^{pump.well} + C^{pump.sys}\big)\cdot W_{ckt}^{aq.n} - CI_{kt}^{sys}\Big)\cdot L_{ckt}^{n} + \beta \cdot \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\sum_{c=1}^{C}\Big(P_c \cdot Y_{ct}^{p} - C_c^{p} - \big(C_t^{pump.well} + C^{pump.sys}\big)\cdot W_{ckt}^{aq.p} - CI_{kt}^{sys}\Big)\cdot L_{ckt}^{p} \quad (۲)$$

که در آن اندیس t به دوره زمانی، k سامانه آبیاری و c محصـول اشاره دارند. همچنـین P قیمـت سـرمزرعه محصـول، Y^n و Y^p بـه ترتیب عملکرد محصـول در محـدوده شـبکه و دشـت، L^n و L^p بـه ترتیب سطح زیر کشت محصول در محدوده شبکه و دشت، $W^{ca.n}$، $W^{aq.n}$ و $W^{aq.p}$ به ترتیب آب آبیاری از منبع کانال و آب آبیـاری از منبع چاه در محدوده شبکه و آب آبیاری از منبـع چـاه در محـدوده دشت می‌باشند. بدین ترتیب در محدوده شبکه بخشی از آب آبیاری از طریق کانال و از طریق چاه‌های شخصی تأمین مـی‌شـود. در بخـش دیگر دشت نیز فرض بر این اسـت کـه تمـامی آب آبیـاری از طریـق چاه‌های کشاورزی تأمین می‌شود.

هزینه‌های کشت محصول شامل هزینه ثابت تولید محصـول C^p به غیر از هزینه زمین و آب (ماننـد کـود، سـم، نیـروی کـار، ماشـین آلات)، هزینـه‌هـای مربـوط بـه آبیـاری و هزینـه‌هـای مربـوط بـه سرمایه‌گذاری برای بهبود کارایی (CI^{sys}) می‌باشد.

هزینه نهایی آبیاری هنگامی که از آب زیرزمینی استفاده می‌شـود شامل هزینه نهایی ناشی از پمپاژ آب از چاه ($C_t^{pump.well}$) اسـت که تابعی از ارتفاع پمپاژ آب می‌باشد و هزینه نهایی مربوط به پمپاژ در سامانه آبیاری ($C^{pump.sys}$) می‌باشد. در محـدوده شـبکه آبیـاری

هزینه نهایی آبیاری از طریق کانال شامل قیمت آب کانال ($\bar{C}^{w.ca.n}$) و هزینه نهایی مربوط به سامانه آبیاری ($C^{pump.sys}$) می‌باشد.

هزینه‌های متغیر استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار- در این مطالعه یک سیستم آبیاری بارانی کلاسیک متحرک انتخاب شد- شامل هزینه انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب در سامانه بعلاوه هزینه‌های مربوط به نیروی کار، استهلاک و تعمیر و نگهداری می‌باشد (۳۱). هزینه انرژی مصرفی سامانه آبیاری از ضرب قیمت انرژی در مقدار انرژی مصرفی ($E^{sys} \cdot CE$) بدست می‌آید. حال اگر L^{sys} هزینه نیروی کار، D^{sys} میزان استهلاک و M^{sys} هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه به صورت درصدی از هزینه‌های انرژی مصرفی باشند، آنگاه هزینه متغیر نهایی استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار را به صورت زیر می‌توان بیان نمود:

$$C^{pump.sys} = (1 + M^{sys} + D^{sys} + L^{sys}) \cdot E^{sys} \cdot CE \qquad (۳)$$

که در آن، CE قیمت انرژی (کیلو وات ساعت) و E^{sys} مقدار انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب در سامانه آبیاری می‌باشد.

هزینه نهایی ناشی از پمپاژ آب از چاه تابع مستقیمی از ارتفاع پمپاژ آب ($Lift$) می‌باشد. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع پمپاژ هزینه‌های پمپاژ آب زیرزمینی افزایش خواهد یافت. رابطه (۴) هزینه نهایی پمپاژ از چاه را نشان می‌دهد:

$$C_t^{pump.well} = \frac{(Lift_t + Press)}{\eta} \cdot E^{well} \cdot CE \qquad (۴)$$

که در آن، η کارایی پمپاژ، $Press$ فشار مورد پمپاژ آب (متر)، CE قیمت انرژی برای هر کیلو وات ساعت و E^{well} انرژی مصرفی برای پمپاژ یک متر مکعب آب به ارتفاع یک متر می‌باشد. از آنجایی‌که در دشت قزوین بسیاری از چاه‌ها با پمپ برقی کار می‌کنند، انرژی مصرفی در این مطالعه برق در نظر گرفته شده است.

زمین‌های مورد نظر محدوده شبکه از طریق کانال آبیاری می‌شوند که آب کانال از دو منبع تهیه می‌شود: منبع سطحی که از سد طالقان وارد کانال می‌شود و منبع زیرزمینی که از چاه‌های تلفیقی به آن افزوده می‌شود. لذا، آب کانل در دو قیمت ارائه می‌شود. در اینجا هزینه نهایی آب کانال $\bar{C}^{w.ca.n}$ در محدوده شبکه از متوسط وزنی قیمت آب سطحی و زیرزمینی بدست آمد.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری به صورت ارزش یکنواخت سالانه هزینه سرمایه‌گذاری (CI^{sys}) برای سامانه آبیاری در نظر گرفته می‌شود.

$$CI_t^{sys} = {i(K^{sys})}\big/{[1-(1+i)^{-t}]} \qquad (۵)$$

که در آن، i نرخ بهره سرمایه معادل متوسط نرخ بهره بانکی و برابر ۱۵ درصد در نظر گرفته شد، K^{sys} سرمایه‌گذاری اولیه در سامانه آبیاری تحت فشار و t دوره زمانی تا عمر مفید آن سامانه می‌باشد.

تابع واکنش عملکرد- آب محصول

بر اساس روابط بیولوژیک رشد محصول، عملکرد واقعی محصول تابعی از تبخیر و تعرق واقعی محصول در مراحل رشد گیاه بیان شده است. مرسوم‌ترین فرم تبعی که برای تابع واکنش عملکرد- آب محصول به صورت فرم درجه دو بیان شده است (۱۷). لذا، تابع واکنش عملکرد آب محصول c را به صورت رابطه (۶) می‌توان بیان نمود (۷ و ۳۴):

$$Y_c^p = \alpha_0 + \alpha_1(ET_c^a) + \alpha_2(ET_c^a)^2 \qquad (۶)$$

که در آن α_0، α_1 و α_2 پارامترهای تابع عملکرد آب می‌باشند و توسط یک رگرسیون حداقل مربعات بدست می‌آیند. Y_c^p عملکرد واقعی محصول در محدوده شبکه و ET_c^a تبخیر و تعرق واقعی محصول یا مقدار آب در دسترسی محصول c است که مجموع نیاز خالص آبی محصول (W_c^{NIR}) و بارش مؤثر (Preci) می‌باشد (۱۳).

به علت هدر رفت مقداری آب در مزرعه، مقدار آب آبیاری برای محصول مقداری بیشتر از نیاز خالص آبی می‌باشد که به کارایی آن سامانه آبیاری (h_k) بستگی دارد. این رابطه به صورت زیر تعریف می‌شود (۱۳):

$$W_{ck} = (ET_c^a - Preci)/h_k \qquad (۷)$$

محدودیت‌های این مدل شامل محدودیت‌های استفاده از نهاده آب و زمین قابل کشت و محدودیت‌های مربوط به پویایی متغیرهای منبع آب زیرزمینی می‌باشد.

تشکیل معادله بیلان آب زیرزمینی

از آنجایی که هدف این تحقیق مطالعه بررسی اثر اتخاذ سیاست‌ها و کشت محصول بر ذخیره منابع آب زیرزمینی می‌باشد، تغییرات بیلان آبخوان دشت قزوین مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌طور کلی بیلان منابع آب زیرزمینی با تفاضل ورودی به آبخوان و خروجی از آن تغییر می‌کند. بنابراین تغییرات موجودی آبخوان (ΔV) را می‌توان به صورت تفاضل خالص جریان ورودی به آبخوان[۱] (NR^{in}) از سطح زمین و لایه‌های زیرین، نفوذ آب برگشتی از مصارف کشاورزی در محدوده شبکه ($TotW_t^{seep.n}$) و محدوده دشت ($TotW_t^{seep.p}$) و آب برگشتی از مصارف شرب و صنعت (DI^{in})،

۱- مقدار NR^{in} شامل تفاضل ورودی از آبخوان مجاور، نفوذ جریانات سطحی از خروجی آب توسط قنات و چشمه، تخلیه بواسطه زهکشی، جریانات زیرزمینی خروجی از آبخوان و تبخیر از سطح آبخوان می‌باشد.

تغذیه مصنوعی ($\widetilde{NW}_t^{recharg}$) و نفوذ از بارندگی[۱] ($Rain^{in}$) از استخراج آب برای مقاصد کشاورزی در محدوده شبکه ($TotW_t^{aq.n}$)، برداشت آب توسط چاه‌های تلفیقی در شبکه ($TotW_t^{aq.p}$) و ($\widetilde{NW}_t^{well}$) مصارف کشاورزی در محدوده دشت و برداشت آب برای مقاصد صنعت و شرب (DI^{Ex}) به صورت رابطه (۸) تشکیل می‌شود.

$$\Delta V_t = TotW_t^{seep.n} + TotW_t^{seep.p} + \widetilde{NW}^{recharg} + Rain^{in} + DI^{in} + NR^{in} - TotW_t^{aq.n} - TotW_t^{aq.p} - \widetilde{NW}^{well} - DI^{Ex} \quad (۸)$$

تعریف سایر محدودیت‌های مدل

به علت اینکه موجودی آبخوان در هر دوره در حال تغییر است، متغیرهای وابسته به آن مانند ارتفاع پمپاژ آب[۲] ($Lift_t$) و ضخامت لایه اشباع خاک[۳] (ST_t) نیز در هر دوره تغییر می‌کنند. مقدار این متغیرها در هر دوره وابسته به مقدار آن در دوره قبل می‌باشد. به طوری‌که مقدار آن متغیر در دوره t تابعی از دوره گذشته آن متغیر و تغییرات موجودی آبخوان به صورت روابط (۹) و (۱۰) تعریف می‌شود:

$$Lift_{t+1} = Lift_t - \left(\frac{1}{Area^{aq} \cdot S_y}\right) \times \Delta V_t \quad (۹)$$

$$ST_{t+1} = ST_t + \left(\frac{1}{Area^{aq} \cdot S_y}\right) \times \Delta V_t \quad (۱۰)$$

که در آن Sy ضریب ذخیره آبخوان و $Area^{aq}$ مساحت زمین بالای آبخوان و ارتفاع پمپاژ اولیه ($Lift_{t=1}$) و ضخامت لایه اشباع اولیه ($ST_{t=1}$) به عنوان پارامترهای ثابتی وارد شدند. روابط (۹) و (۱۰) معادلات حرکت پویایی مدل می‌باشند که حرکت یک متغیر از یک دوره زمانی به دوره بعد را بیان می‌کنند.

همچنین رابطه (۱۱) حداکثر پمپاژ آب زیرزمینی، رابطه (۱۲) حداکثر میزان آب کانال در دسترس، رابطه (۱۳) محدودیت زمین قابل کشت محدوده شبکه و رابطه (۱۴) محدودیت زمین‌های قابل کشت دشت و روابط (۱۵) مثبت بودن متغیرهای تصمیم به صورت زیر می‌باشند:

$$\sum_c^2 \sum_k^2 \sum_m^{12} W_{cktm}^{aq.n} \cdot L_{ckt}^n + \sum_c^2 \sum_k^2 \sum_m^{12} W_{cktm}^{aq.p} \cdot L_{ckt}^p \leq TPC^{aq} \quad (۱۱)$$

$$\sum_c^2 \sum_k^2 W_{cktm}^{ca.n} \cdot L_{ckt}^n \leq \widetilde{NW}_m^{deliver} \quad (۱۲)$$

$$\sum_c^2 \sum_k^2 L_{ckt}^n \leq Area^n \quad (۱۳)$$

$$\sum_c^2 \sum_k^2 L_{ckt}^p \leq Area^p \quad (۱۴)$$

$$W_{cktm}^{ca.n} . W_{cktm}^{aq.n} . W_{cktm}^{aq.p} . L_{ckt}^n . L_{ckt}^p \geq 0 \quad (۱۵)$$

محدودیت (۱۱) حداکثر مقدار برداشت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. سمت چپ آن کل آب آبیاری پمپاژ شده از چاه‌های خصوصی در محدوده شبکه و پمپاژ آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در دشت قزوین می‌باشند. سمت راست این محدودیت حداکثر ظرفیت فیزیکی پمپاژ آب چاه‌ها (TPC^{aq}) می‌باشد.

داده‌های مورد نیاز این تحقیق به روش پیمایشی، اسنادی و استفاده از نظرات کارشناسان و مطلعین جمع‌آوری گردید. کلیه اطلاعات مربوط به قیمت محصولات، هزینه‌های کشت و سطح زیر کشت و اطلاعات سامانه‌های آبیاری برای سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ از سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین و کلیه اطلاعات مربوط به بیلان آب زیرزمینی از شرکت آب منطقه‌ای استان دفتر مطالعات پایه منابع آب وزارت نیرو طرح بهنگام‌سازی سال ۱۳۹۵ و داده‌های بارش ماهانه ۶۰ ساله تا سال ۱۳۹۷ از سازمان هواشناسی کشور و اطلاعات شبکه‌های آبیاری به صورت ماهانه از سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ تا ۹۷-۱۳۹۶ از شرکت بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین تهیه گردید.

تصادفی نمودن متغیرها بر اساس وضعیت بارش

محدودیت (۱۲) حداکثر میزان دسترسی ماهیانه به آب آبیاری کانال در محدوده شبکه را نشان می‌دهد. سمت راستی این محدودیت یعنی مقدار آب کانال در دسترس ($\widetilde{NW}_m^{deliver}$) متغیری تصادفی است که به وضعیت بارندگی در هر دوره بستگی دارد. شبکه مدرن آبیاری یک سهمیه اسمی ثابت به اندازه ۲۷۸ میلیون متر مکعب سالانه از سد مخزنی طالقان دارد. این مقدار بخشی از نیاز آبی این محدوده را تأمین می‌کند و مابقی آن از طریق آب زیرزمینی و چاه‌های خصوصی جبران می‌شود. در سال‌های مرطوب و پر بارش از این سهمیه مقداری بیشتر و در سال‌های خشکسالی مقداری کمتر از آن اختصاص می‌یابد. سهمیه تعیین شده در هر سال با توجه به نیاز

۱- برای این کار مقدار متوسط بلندمدت بارش سالانه در سال‌های خشک، نرمال و تر مطابق با شاخص SPI در مساحت زمین بالای آبخوان و ضریب نفوذ ضرب شده و سپس در احتمال وقوع خشکسالی، نرمال و ترسالی ضرب و مجموع آن به عنوان متوسط بلندمدت نفوذ بارش به آبخوان در نظر گرفته شد.

۲- فاصله سطح آب چاه تا سطح زمین ارتفاع پمپاژ می‌باشد.

۳- ضخامت عمودی از کف آبخوان که در آن فضای خالی میان ذرات خاک از آب پر شده است.

آبی منطقه به صورت ماهانه تحویل داده می‌شود. لذا، حد بالای دسترسی به آب کانال باید به صورت ماهانه در نظر گرفته شود.

با توجه به ماهیت تصادفی آب تحویلی کانال و وابستگی آن به بارش مقدار متوسط ماهانه آن شبیه‌سازی شد. بدین صورت که برای داده‌های تاریخی ۱۰ ساله آب تحویلی کانال با استفاده از شاخص استاندارد بارش[1] (*SPI*) ماه‌های متناظر با خشکسالی، نرمال و ترسالی مشخص گردید. سپس میانگین ماهانه در سه حالت خشکسالی، نرمال و ترسالی با استفاده از روش مونت کارلو[2] با فرض توزیع نرمال با ۵۰۰ تکرار شبیه‌سازی شدند. در مرحله بعد با استفاده از آمار ۶۰ سال بارندگی ماهانه و شاخص استاندارد بارش برای هر ماه تعداد خشکسالی، نرمال و ترسالی شمرده شده و از تقسیم آن بر تعداد کل احتمال بلندمدت خشکسالی، نرمال و ترسالی ماهانه بدست آمد. حال، از ضرب این احتمالات در میانگین شبیه‌سازی شده ماهانه آب تحویلی و جمع آنها متوسط تصادفی آب تحویلی به شبکه به صورت رابطه (۱۶) بدست آمد:

$$\tilde{NW}_m^{deliver} = \sum_{p=1}^{3} prob_{m.p}^{deliver} \cdot \overline{NW}_{m.p}^{deliver} \qquad (۱۶)$$

که در آن $prob_{m.p}^{deliver}$ احتمال بلندمدت وضعیت خشکسالی، نرمال و ترسالی p در ماه m و $\overline{NW}_{m.p}^{deliver}$ میانگین بلندمدت آب تحویل داده شده به کانال در ماه m در وضعیت بارندگی p می‌باشند.

از آنجایی‌که بخشی از آب کانال از منبع سطحی و بخشی از منبع چاه تلفیقی تأمین می‌شود و مقدار آب سطحی و زیرزمینی کانال بر حسب شرایط بارندگی متفاوت خواهد بود، میانگین هزینه نهایی مصرف آب کانال ($\tilde{C}_t^{w.ca.n}$) نیز ماهیت تصادفی خواهد داشت. لذا، برای تصادفی نمودن آن با توجه به وابستگی آن به بارش، می‌توان از شاخص بارندگی استاندارد به صورت رابطه (۱۷) بدست می‌آید:

$$\tilde{C}^{w.ca.n} = Pw^s \cdot prob_p \cdot \frac{NW^{sur}}{NW^{deliver}} + Pw^w \cdot prob_p \cdot \frac{NW^{well}}{NW^{deliver}} \qquad (۱۷)$$

که در آن Pw^s و Pw^w به ترتیب قیمت آب کانال از منبع سطحی و قیمت آب کانال از منبع چاه تلفیقی هستند که مقادیر ثابتی می‌باشند. $NW^{deliver}$ متوسط بلندمدت واقعی آب تحویلی به شبکه، NW^{sur} متوسط بلندمدت واقعی آب کانال در شبکه از منبع سطحی و NW^{well} متوسط بلندمدت واقعی آب کانال در شبکه از منبع زیرزمینی می‌باشند و $prob_p$ احتمال بلندمدت وقوع سالانه وضعیت بارندگی خشکسالی، نرمال و ترسالی در منطقه است[3].

در سال‌های پر بارش که آب ورودی به شبکه آبیاری از کل سهمیه بیشتر است، مقداری از این مازاد برای تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی اختصاص داده می‌شود و در سال‌های خشکسالی و کمبود آب برای جبران سهمیه کشاورزان آب چاه‌های تلفیقی به آن اضافه می‌شود. اینها ورودی و خروجی به مخزن زیرزمینی می‌باشند که در رابطه (۸) حضور دارند. برای تصادفی نمودن تغذیه مصنوعی ($\tilde{NW}^{recharg}$) ابتدا میانگین ماهانه داده‌های تاریخی در سال‌های خشکسالی، نرمال و ترسالی برای تغذیه مصنوعی آبخوان بدست آمد. سپس این مقدار در احتمال بلندمدت خشکسالی، نرمال و ترسالی سالانه بر اساس شاخص استاندارد بارش ضرب شد و بدین ترتیب میانگین ماهانه بلندمدت تغذیه مصنوعی با توجه به نوسانات بارش به صورت رابطه (۱۸) بدست آمد. برای بدست آوردن میانگین ماهانه بلندمدت برداشت از چاه‌های تلفیقی با توجه به نوسانات بارش نیز به همین صورت مطابق رابطه (۱۹) عمل شد:

$$\tilde{NW}^{recharg} = \sum_{p=1}^{3} \sum_{m=1}^{12} prob_p \cdot \overline{NW}_{m.p}^{recharg} \qquad (۱۸)$$

$$\tilde{NW}^{well} = \sum_{p=1}^{3} \sum_{m=1}^{12} prob_p \cdot \overline{NW}_{m.p}^{well} \qquad (۱۹)$$

اثربخشی سرمایه‌گذاری دولت در سامانه‌های نوین آبیاری

بهبود کارایی آبیاری و ارتقای تکنولوژی آن هزینه‌هایی در بر دارد و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه دارد. انجام این هزینه ارزش فعلی منافع کشاورزی را کم می‌کند. برای بهره‌بردار اگر منافع ناشی از آب صرفه‌جویی شده از هزینه‌های بهبود کارایی بیشتر باشد، انتخاب این تکنولوژی توجیه دارد. کاهش هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه برای این سامانه‌ها می‌تواند به صرفه بودن این تکنولوژی‌ها را توجیه‌پذیر کند. لذا، دولت‌ها برای تشویق کشاورزان به استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری در سرمایه‌گذاری اولیه آنان مشارکت می‌کنند. این سیاست اکنون به صورت سیاست اعطای کمک بلاعوض اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار و پرداخت سهمی از سرمایه‌گذاری اولیه در حال اجراست. لذا، اگر فرض کنیم S سهم پرداخت توسط دولت باشد، آنگاه هزینه‌های یکنواخت سرمایه‌گذاری سالانه سامانه آبیاری تحت فشار در تابع هدف مدل را می‌توان به صورت $((1-S)CI_k^{sys})$ در نظر گرفت. به عبارت دیگر، با افزایش سهم دولت S میزان سهم بهره‌بردار از سرمایه‌گذاری $(1-S)$ کاهش می‌یابد. در این گونه موارد برای ارزیابی میزان اثربخشی این سیاست می‌توان از معیار هزینه- اثربخشی[4] (*CEA*) استفاده نمود. امروزه این معیار کاربردهای فراوانی یافته است. از جمله مطالعات (۳، ۷ و ۳۹)

1- Standard precipitation index

2- Monte carlo simulation

3- به طوری که $NW_t^{deliver} = NW_t^{sur} + NW_t^{well}$ و $\sum_{p=1}^{3} prob_p = 1$

4- Cost effectiveness analysis

برای ارزیابی تکنولوژی‌های آبیاری و سیاست‌های حفاظت آب از این معیار استفاده کردند. برای محاسبه این معیار نسبت میزان آب صرفه‌جویی شده بواسطه اجرای این سیاست به میزان کل پرداخت‌های دولت به صورت $\frac{W^{save}}{S\cdot CI^{sys}}$ تشکیل می‌شود و بدین معناست که به ازای یک واحد پول پرداخت شده توسط دولت بابت اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار چند متر مکعب آب صرفه‌جویی شده است. منظور از آب صرفه‌جویی شده تفاوت کل آب آبیاری مصرف شده در منطقه در وضعیت پایه نسبت به کل آب آبیاری مصرف شده پس از اعمال سیاست پرداخت می‌باشد.

نتایج و بحث

در ادامه برای فهم بهتر اثر اعمال سیاست کمک بلاعوض سامانه‌های آبیاری تحت فشار نتایج در دو سناریو بررسی گردید. سناریوی اول شرایط موجود است که پمپاژ آب به ظرفیت طبیعی چاه‌ها محدود شده است. در سناریوی دوم یک حد مجاز برداشت آب تعیین شده و میزان پمپاژ آب زیرزمینی به طور قانونی محدود شده است.

اثر اجرای سیاست بر سطح زیر کشت و سود خالص

کشاورز در واکنش به سیاست کمک بلاعوض سامانه آبیاری ممکن است ضمن انتخاب سامانه‌های نوین آبیاری به جای سنتی، ترکیب محصولات را نیز تغییر دهد. برای فهم بهتر اثر اجرای سیاست بر انتخاب سامانه آبیاری و مصرف آب، الگوی کشت و در نتیجه سهم کشت گندم و جو در منطقه ثابت در نظر گرفته شد. جدول ۱ سود خالص کشت محصولات در هکتار و ارزش فعلی خالص کشت در هر محدوده را نشان می‌دهند. بر این اساس با افزایش سهم پرداخت سود خالص کشت محصولات و ارزش فعلی خالص کشت افزایش خواهد یافت. افزایش سود به دلیل افزایش عملکرد و در سامانه آبیاری مدرن کاهش هزینه سرمایه‌گذاری می‌باشد.

اثر اجرای سیاست بر مصرف آب

جدول ۲ میانگین بلندمدت آب مصرفی بهینه در هکتار محصولات در سامانه‌های آبیاری سطحی و تحت فشار را در شرایط طبیعی (سناریو یک) نشان می‌دهد. همان طور که این جدول نشان می‌دهد، در سطوح پایین سهم پرداخت کشت محصول از طریق سامانه آبیاری سنتی و در سطوح بالاتر آن آبیاری به طریق مدرن انجام می‌شود. مطالعه (۳۱) نیز نشان داد که این پرداخت‌ها اثر معنی‌داری بر پذیرش سامانه نوین آبیاری دارند. بر اساس این جدول دو نکته استنتاج می‌شود: اول اینکه برای هر کدام از محصولات در واحد هکتار میزان آب مصرفی در سامانه آبیاری سطحی بزرگتر از آب مصرفی در سامانه آبیاری مدرن بوده است. این نتیجه به علت کارایی بالاتر سامانه آبیاری مدرن منطقی می‌باشد. نکته دیگر اینکه با افزایش میزان سهم پرداخت دولت در این سیاست هم در سامانه آبیاری سطحی و هم سامانه مدرن میزان مصرف آب آبیاری افزایش یافته است.

این افزایش مصرف آب بدین علت می‌باشد که کشاورز از آب صرفه‌جویی شده به منظور افزایش عملکرد محصول و در نتیجه افزایش درآمد استفاده می‌کند. این افزایش مصرف آب در سامانه آبیاری مدرن در سطح سهم ۹۰ و ۱۰۰ درصد که عملکرد محصول به حداکثر می‌رسد متوقف می‌گردد.

جدول ۱- میانگین بلندمدت سود خالص در هکتار محصولات و ارزش فعلی خالص در سطوح سهم پرداخت (میلیون تومان)
Table 1- The long-run average of the net profit and the net present value in the shares of payment (million tomans)

		سهم پرداخت از سرمایه‌گذاری اولیه (Share of payments)							
		0%	**20%**	**40%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
شبکه آبیاری Irrigation network	جو (Barley)	5.18	5.286	5.728	6.058	6.438	4.091	6.706	6.706
	گندم (Wheat)	4.324	3.943	5.425	5.753	6.209	5.282	6.727	6.727
	ارزش فعلی خالص (NPV)	989115	903955	1360239	1481449	1637933	1686103	1770128	1856817
دشت Plain	جو (Barley)	6.486	6.506	6.821	6.963	5.027	7.046	7.048	7.048
	گندم (Wheat)	6.295	6.335	7.294	7.333	7.38	7.393	7.397	7.397
	ارزش فعلی خالص (NPV)	6967262	7056635	6843285	7194289	7347868	7645382	7977560	8320445

مأخذ: یافته‌های تحقیق
Source: Research findings

جدول ۲- میزان سطح زیر کشت بهینه محصولات (هکتار) و مصرف آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری (متر مکعب) در سطوح سهم پرداخت
Table 2- The optimal crops land (hectare) and the irrigation water per hectare (cubic meter) in the network and the plain area in the shares of payment

		ناحیه Area	دشت Plain				شبکه آبیاری Irrigation network			
		محصول Crop	گندم Wheat		محصول Crop		گندم Wheat		جو Barley	
		سامانه آبیاری System	تحت فشار Sprinkler	سطحی Surface	تحت فشار Sprinkler	سامانه آبیاری System	تحت فشار Sprinkler	سطحی Surface	تحت فشار Sprinkler	سطحی Surface
سطح زیر کشت Crops land	سهم پرداخت از سرمایه‌گذاری (Share of payments)	0%	0	190923	0	81824	0	47600	0	20400
		20%	0	190923	0	81824	0	47600	0	20400
		40%	190923	0	0	81824	0	47600	0	20400
		60%	190923	0	38108	43716	0	47600	0	20400
		70%	190923	0	80238	1586	0	47600	0	20400
		80%	190923	0	81824	0	18491	29109	6778	13622
		90%	190923	0	81824	0	47600	0	20400	0
		100%	190923	0	81824	0	47600	0	20400	0
آب مصرفی در هکتار Irrigation water per hectare	سهم پرداخت از سرمایه‌گذاری (Share of payments)	0%	0	1912.2	0	2582.7	0	5174	0	4627.3
		20%	0	1423	0	2712.1	0	5262.7	0	4673.5
		40%	0	3534.6	0	3307.1	4247.9	0	0	5526.3
		60%	0	4097.9	0	3816.3	4397.5	0	3058.9	6112.5
		70%	0	4992.5	0	4524	4634.2	0	3350.8	2862.8
		80%	384.4	5067.7	968.2	4455.2	4735	0	3407.9	0
		90%	3120.8	0	2585.1	0	4782.7	0	3422.6	0
		100%	3120.8	0	2585.1	0	4782.7	0	3422.6	0

مأخذ : یافته‌های تحقیق
Source: Research findings

جدول (۳) مصرف کل آب آبیاری در منطقه را به تفکیک محدوده و منبع تأمین آب در سطوح مختلف سهم پرداخت در شرایط سناریوی اول و دوم نشان می‌دهد. در شرایط سناریوی اول در محدوده شبکه با افزایش سهم پرداخت در ابتدا میزان مصرف کل آب افزایش و سپس کاهش یافته است و آن بدین علت می‌باشد که تا سطح ۷۰ درصد سامانه آبیاری سطحی رایج است که با بکارگیری سامانه آبیاری مدرن مصرف کل آب شبکه کاهش می‌یابد و در مجموع، کل آب مصرفی زیرزمینی در محدوده دشت و کل منطقه با افزایش سهم پرداخت دولت کاهش می‌یابد. همچنین، در ادامه جدول ۲ که مقدار آب صرفه‌جویی شده پس از اعمال سیاست نسبت به شرایط عدم اجرای سیاست را نشان می‌دهد، با افزایش سهم پرداخت در مصرف کل آب آبیاری منطقه و کل پمپاژ آب زیرزمینی صرفه‌جویی افزایش یافته است.

این کاهش مصرف آب در نتیجه اعمال سیاست کمک بلاعوض سامانه آبیاری تحت فشار را می‌توان به علت افزایش سطح زیر کشت سامانه آبیاری تحت فشار بجای سامانه آبیاری سنتی دانست. در سامانه آبیاری تحت فشار به علت بهبود کارایی آب کمتری بکار گرفته می‌شود. لذا، می‌توان بیان نمود که اجرای این سیاست در کاهش مصرف کل آب آبیاری و کاهش پمپاژ آب زیرزمینی مؤثر است.

در شرایط سناریوی دوم که پمپاژ آب زیرزمینی به صورت قانونی محدود شده است، اثر اجرای سیاست نیز متفاوت خواهد بود. به طوری که در این شرایط محدودیت قانونی پمپاژ به گونه‌ای است که کشاورزان برای تأمین نیاز آبی محصولات، همه آب در دسترس را مصرف می‌کنند. از این رو، آب مازادی برای صرفه‌جویی باقی نمی‌ماند در شرایط سناریوی دوم در کل منطقه – غیر از سطوح بالای پرداخت – صرفه‌جویی آب اتفاق نمی‌افتد. در محدوده شبکه در این شرایط برای جبران کمبود نیاز آبی محصولات از آب چاه استفاده می‌شود. لذا، یک افزایش پمپاژ آب زیرزمینی در محدوده شبکه و یک کاهش پمپاژ در محدوده دشت به وقوع پیوسته است. ولی در مجموع در شرایط این سناریو، اجرای سیاست کمک بلاعوض سامانه آبیاری تحت فشار در کاهش مصرف آب زیرزمینی و حفاظت آبخوان بی اثر بوده است.

جدول ۳- کل آب آبیاری مصرف شده و صرفه‌جویی شده به تفکیک نواحی و منبع تأمین آب در درصد سهم پرداخت (میلیون متر مکعب)

Table 3- Total used water and saved water separated areas and source of water supply in shares of payment (million cubic meters)

	ناحیه area		شبکه آبیاری irrigation network			دشت	کل محدوده	آبخوان
		سهم پرداخت از سرمایه‌گذاری اولیه (Share of payments)	کانال Canal	زیرزمینی Well	کل شبکه Total	Plain	Overall area	Aquifer
سناریوی اول First scenario	کل آب مصرف شده (Used water)	0%	122.54	21.17	143.71	1366.9	1510.61	1388.07
		20%	122.54	0.52	123.06	1387.77	1510.83	1388.29
		40%	122.54	113.18	235.71	1263.01	1498.72	1376.18
		60%	122.54	150.38	272.91	1224.51	1497.43	1374.89
		70%	122.54	207.4	329.94	1164.52	1494.45	1371.92
		80%	110.62	186.99	297.61	1182.82	1480.42	1369.8
		90%	29.11	172.18	201.29	1190.49	1391.77	1362.66
		100%	29.11	172.18	201.29	1190.49	1391.77	1362.66
	کل آب صرفه‌جویی شده (Saved water)	20%	0	20.65	20.65	-20.87	-0.22	-0.22
		40%	0	-92	-92	103.89	11.89	11.89
		60%	0	-129.2	-129.2	142.38	13.18	13.18
		70%	0	-186.23	-186.23	202.38	16.15	16.15
		80%	11.92	-165.81	-153.9	184.08	30.18	18.26
		90%	93.43	-151	-57.58	176.41	118.83	25.41
		100%	93.43	-151	-57.58	176.41	118.83	25.41
سناریوی دوم Second scenario	کل آب مصرف شده (Used water)	0%	122.54	11.16	133.7	1055.12	1188.81	1066.28
		20%	122.54	0.52	123.06	1065.75	1188.81	1066.28
		40%	122.54	4.9	127.44	1061.38	1188.81	1066.28
		60%	122.54	58.8	181.34	1007.48	1188.81	1066.28
		70%	122.54	51.53	174.07	1014.74	1188.81	1066.28
		80%	106.47	55.51	161.98	1010.77	1172.75	1066.28
		90%	106.47	53.89	160.36	1012.39	1172.75	1066.28
		100%	106.47	53.89	160.36	1012.39	1172.75	1066.28
	کل آب صرفه‌جویی شده (Saved water)	20%	0	10.64	10.64	-10.64	0	0
		40%	0	6.26	6.26	-6.26	0	0
		60%	0	-47.64	-47.64	47.64	0	0
		70%	0	-40.37	-40.37	40.37	0	0
		80%	16.07	-44.35	-28.28	44.35	16.07	0
		90%	16.07	-42.73	-26.66	42.73	16.07	0
		100%	16.07	-42.73	-26.66	42.73	16.07	0

مأخذ : یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

اثر اجرای سیاست بر موجودی آبخوان

تغییرات مقدار موجودی منبع آب زیرزمینی از متغیرهـای اثرگـذار بر ورودی و خروجی از آبخوان تأثیر می‌پذیرد. از جمله کشاورزی آبـی که به استحصال آب و کاهش موجودی آبخوان منجر می‌شـود. البتـه بخشی از آب پمپاژ شده برای کشاورزی بـه صـورت نفـوذ عمقـی یـا برگشت آب از مصارف کشاورزی به آبخوان بر می‌گردد.

جدول ۴ میزان کل آب نفوذ یافته از مصارف کشـاورزی را نشـان می‌دهد. بر این اساس با افزایش میزان سهم پرداخت دولت در شرایط سناریوی یک، میزان کل آب نفوذ یافته در منطقه و در محدوده دشت کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج جدول، به علت کاهش مصرف آب با افزایش سهم پرداخت، میزان نفوذ آب به عمق نیز کاهش یافته است. البته در شرایط سناریوی دوم نیز به همـین منـوال بـا افـزایش سـهم پرداخت کاهش نفوذ عمقی مشاهده شد.

ادامه جدول ۴ مربوط بـه تغییـرات موجـودی آبخـوان در شـرایط سناریوی یک است. با توجه به این جدول، خالص نفـوذ عمقـی آب از فعالیت‌های کشاورزی به آبخـوان کـه مابـه التفـاوت آب برگشـتی از فعالیت‌های کشاورزی و میزان کل برداشت آب زیرزمینـی در منطقـه است، با افزایش سهم پرداخت به عنوان یک عامل خروجی از آبخوان در حال افزایش است. در این جدول علامت منفی به معنای خـروج از آبخوان می‌باشد. لذا، موجودی آبخوان با افزایش سهم پرداخـت بابـت اجرای این سیاست در حال کاهش می‌باشد. علـت کـاهش موجـودی آبخوان این است که با اجرای سیاست کمک بلاعوض، سامانه آبیاری تحت فشار انتخاب شده و کارایی آبیاری بهبود می‌یابد کـه در نتیجـه آب کمتری هدر رفته و نفوذ عمقی کاهش می‌یابد. مطالعـه (۳۷) نیـز

بیان کرد که الزاماً گسترش سامانه‌های نوین آبیاری به بهبود تعادل آب‌های زیرزمینی منجر نخواهد شد.

از بررسی موجودی آبخوان نیز مشخص می‌شود که در وضعیت پایه و عدم اجرای سیاست پرداخت، در انتهای افق برنامه‌ریزی نسبت به سال اول ۳۳۱۶ میلیون متر مکعب و در وضعیت سهم پرداخت ۱۰۰ درصد ۱۱۱۳۰ میلیون متر مکعب کاهش ذخیره آبخوان اتفاق خواهد افتد. به عبارت دیگر، با افزایش سهم پرداخت در یک دوره بلندمدت وضعیت آبخوان بدتر خواهد شد.

در شرایط سناریوی دو نیز روند تغییر موجودی آبخوان به همین منوال است. منتها به علت مصرف آب کمتر وضعیت آبخوان در آن بهتر خواهد بود.

جدول ۴ ضخامت لایه اشباع خاک در انتهای افق برنامه‌ریزی – سال ۲۰۴۰ – را نشان می‌دهد. به علت کاهش موجودی آبخوان ضخامت لایه اشباع در طول زمان در حال کاهش است. از آنجایی که در سال پایه ارتفاع ضخامت لایه اشباع ۹۰ متر بوده است، اگر هیچ‌گونه سیاستی اعمال نشود این لایه پس از طی ۲۰ سال به حدود ۷۶ متر کاهش خواهد یافت. اما هرچه میزان سهم پرداخت در این سیاست بیشتر باشد، این ارتفاع بیشتر کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، در سهم پرداخت ۱۰۰ درصد ضخامت لایه اشباع به ۴۳ متر خواهد رسید.

جدول ٤- میزان کل نفوذ عمقی و سایر عوامل تغییر ذخیره آبخوان در درصدهای سهم پرداخت (ارتفاع به متر و حجم به میلیون متر مکعب)

Table 4- Total water seepage from agriculture and the factors of variation at the aquifer volume in the shares of payment (heights: meter and volume: million cubic meters)

		سهم پرداخت از سرمایه‌گذاری اولیه (Share of payments)							
		0%	20%	40%	60%	70%	80%	90%	100%
نفوذ عمقی Seepage	شبکه آبیاری (Network)	56.68	48.64	92.79	107.48	129.86	97.23	29.72	29.72
	دشت (Plain)	546.52	554.78	302.55	250.56	177.31	177.44	179.1	179.1
	کل محدوده (Total area)	603.2	603.42	395.34	358.04	307.17	274.66	208.82	208.82
خالص نفوذ کشاورزی (Net seepage)		-784.42	-784.27	-981.03	-1015.5	-1064.4	-1095.1	-1156.5	-1156.5
خالص سایر ورودی‌ها (Net other inflows)		626.51	626.51	626.51	626.51	626.51	626.51	626.51	626.51
تغییرات موجودی آبخوان (Aquifer volume variation)		-157.91	-157.76	-354.52	-389.03	-437.91	-468.67	-530.03	-530.03
ضخامت لایه اشباع خاک (Saturate thickness)		76.02	76.03	58.61	55.55	51.22	48.5	43.06	43.06
موجودی آبخوان (Aquifer volume)		18027	18030	13898	13173	12147	11501	10212	10212

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

ارزیابی هزینه- اثربخشی اجرای سیاست

هنگامی که هزینه‌ای توسط دولت برای اجرای سیاستی انجام می‌شود، می‌توان اثربخشی آن سیاست را بررسی نمود. بدین منظور جدول (۵) مقدار کل آب صرفه‌جویی شده، کل پرداخت دولت و معیار هزینه- اثر بخشی این سیاست را در سهم‌های مختلف نشان می‌دهد. بر این اساس، در شرایط سناریوی یک، برای کل منطقه با افزایش سهم پرداخت میزان آب صرفه‌جویی شده و کل پرداخت دولت از اجرای سامانه مدرن افزایش می‌یابد. اما بیشترین اثر بخشی این سیاست در سطح یارانه ۹۰ درصد و سپس ۱۰۰ درصد اتفاق افتاد، به طوری که به ازای هر یک میلیون تومان پرداخت بابت اجرای این سیاست به ترتیب ۶۶۵ و ۵۹۸ متر مکعب آب صرفه‌جویی شده است.

در شرایط سناریوی دو، برای کل منطقه با افزایش سهم پرداخت مقدار آب صرفه‌جویی شده ثابت و تنها میزان کل پرداخت دولت افزایش می‌یابد. بنابراین، معیار هزینه- اثربخشی آن نیز کاهش می‌یابد.

اثربخشی این سیاست را برای حفاظت آب زیرزمینی نیز می‌توان محاسبه کرد. بدین صورت که از نسبت موجودی آبخوان در انتهای افق برنامه‌ریزی به کل مبلغ پرداختی دولت بابت اجرای این سیاست شاخص هزینه- اثربخشی آن حاصل می‌شود. از آنجایی که موجودی آبخوان کاهش یافته است، اجرای این سیاست موجب حفاظت آب زیرزمینی نمی‌شود. اما با افزایش سهم پرداخت میزان این کاهش کمتر می‌شود. لذا، در شرایط طبیعی (سناریوی یک)، به عنوان مثال در سطح سهم پرداخت ۱۰۰ درصد به ازای یک میلیون تومان پرداخت توسط دولت موجودی آبخوان ۲۹۱۲ متر مکعب و در شرایط سناریوی دوم در سطح سهم پرداخت ۱۰۰ درصد به ازای یک میلیون تومان پرداخت، موجودی آبخوان ۱۴۹۰ متر مکعب کاهش می‌یابد.

جدول ۵- معیار هزینه- اثر بخشی صرفه‌جویی آب و حفاظت آبخوان سیاست کمک بلاعوض سامانه آبیاری تحت فشار

Table 5- The cost-Effectiveness criteria of saving water and groundwater conservation for grant policy for under pressure irrigation system

سهم پرداخت از سرمایه‌گذاری اولیه (Share of payments)	محدودیت قانونی بر پمپاژ legal limitation of pumping			ظرفیت طبیعی پمپاژ Natural capacity of pumping		
	معیار هزینه- اثر بخشی CEA	کل پرداخت دولت Government payments	کل آب صرفه‌جویی شده Saved water	معیار هزینه- اثر بخشی CEA	کل پرداخت دولت Government payments	کل آب صرفه‌جویی شده Saved water
40%	0	0	0	243.510	878455.4	213.913
60%	0	0	0	167.785	1561491.3	261.995
70%	0	0	0	139.540	2179543.4	304.133
80%	115.871	2773071	321.3196	212.569	2773070.6	589.470
90%	91.087	3527577	321.3196	665.084	3527576.5	2346.13
100%	81.979	3919530	321.3196	598.576	3919529.5	2346.13
	معیار هزینه- اثر بخشی CEA	کل پرداخت دولت Government payments	ذخیره آبخوان Aquifer volume	معیار هزینه- اثر بخشی CEA	کل پرداخت دولت Government payments	ذخیره آبخوان Aquifer volume
40%	0	0	-1211.44	-0.0088	878455.46	-7727.8819
60%	0	0	-4912.87	-0.00541	1561491.3	-8452.4632
70%	0	0	-5101.12	-0.00435	2179543.4	-9479.0623
80%	-0.0021	2773071	-5823.76	-0.00365	2773070.6	-10124.901
90%	-0.00165	3527577	-5823.76	-0.00324	3527576.5	-11413.48
100%	-0.00149	3919530	-5823.76	-0.00291	3919529.5	-11413.48

مأخذ : یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تحقیق حاضر به دنبال پاسخ به این سؤال بوده کـه آیـا سیاسـت پرداخت کمک بلاعوض سامانه‌های نوین آبیاری منجر به صرفه‌جویی آب و بهتر شدن اوضاع منابع آب زیرزمینـی در منطقـه خواهـد شـد؟ مطالعات کمی به اثرات صرفه‌جویی آب سیاست‌ها پرداخته‌اند و هنـوز در اثرات آن ابهام وجود دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که با فرض اینکه الگوی کشت منطقه تغییر نکند، در واکـنش بـه سیاسـت پرداخـت بلاعـوض بابـت بـرای سامانه‌های نوین کشاورز سامانه آبیاری مدرن را انتخـاب و جـایگزین سامانه آبیاری سنتی می‌کند. در نتیجه این موجب بهبود کارایی آبیاری و ذخیره شدن مقداری آب می‌شود. این آبی که صـرفه‌جـویی شـده را کشاورز برای افزایش عملکرد محصول بکـار مـی‌گیـرد. تـا آنجـا کـه محصولی که تحت شرایط استرس آبی بوده به حداکثر عملکـرد خـود برسد. بنابراین، افزایش سهم پرداخـت منجـر بـه افـزایش عملکـرد و درآمد خالص محصول می‌شود. زو و همکاران (۳۹) نیز این افزایش در سود را عامل پذیرش سامانه‌هـای مـدرن تشـخیص دادنـد. از طرفـی توسعه سامانه آبیاری نوین منجر به صـرفه‌جـویی آب در کـل منطقـه خواهد شد و پمپاژ آب زیرزمینی نیز کاهش خواهد یافت.

نتایج این مطالعه نشان داد که اتخاذ این سیاست علی‌رغم اینکـه می‌تواند به کاهش پمپاژ آب منجر شود، اما در حفاظـت و پایـداری از منابع آب زیرزمینی مؤثر نمی‌باشد. به طوری که با اتخاذ این سیاسـت کسری آبخوان نسبت بـه عـدم اجـرای سیاسـت در بلندمـدت بیشـتر خواهد شد.

در مجموع، قضاوت در مورد سیاسـت پرداخـت کمـک بلاعـوض سامانه‌های نوین آبیاری توسط دولت دارای دو جنبه است. جنبـه اول، اثرگذاری اقتصادی- اجتماعی آن اسـت و مربـوط بـه مسـأله امنیـت غذایی، درآمد کشاورزان و تولید کشـاورزی اسـت. از ایـن منظـر ایـن سیاست کارایی مصـرف آب را ارتقـا داده و موجـب افـزایش درآمـد و عملکرد کشاورزی می‌شود. از سوی دیگر جنبـه محـیط زیسـتی ایـن سیاست قرار دارد. با فرض اینکه بهبود کارایی نفوذ عمقی آب به خاک را کاهش دهد و آب صرفه‌جویی شده به مصرف برسـد، اجـرای ایـن سیاست موجب حفاظت از منابع آب زیرزمینـی نمـی‌شـود و حتـی در بلندمدت کسری مخزن آبخوان را بدتر می‌کند.

مقایسه سناریوی محدودیت قانونی پمپاژ آب زیرزمینی با شرایط طبیعی نشان داد که اگر در میزان دسترسی به آب در حد نیاز آبی منطقه یا کمتر باشد، اجرای سیاست پرداخت برای سامانه‌های نوین حتی منجر به صرفه‌جویی نیز نخواهد شد. همچنین مشخص شد که برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی سیاست‌های تکمیلی مانند محدودیت پمپاژ و سهمیه‌بندی آب اثر بیشتری را دارد. مطالعه (۳۸ و ۳۷) تأیید کردند که اگر سطح زیر کشت افزایش یابد، توسعه سامانه‌های نوین منجر به کسری مخزن می‌گردد.

با توجه به این که اجرای اینگونه سیاست‌ها بار مالی زیادی به دولت‌ها تحمیل می‌کند، از نتایج این تحقیق مشخص شد که اگر هدف دولت حفاظت از منابع آب زیرزمینی در حال تخلیه است، اجرای سیاست پرداخت کمک بلاعوض سامانه‌های آبیاری مدرن اثربخش نمی‌باشد. الا اینکه با سیاست‌های مکمل برای صرفه‌جویی آب همراه باشد.

منابع

1- Abbasi F., Sohrab F., and Abbasi N. 2017. Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. Irrigation and Drainage Structures Research Engineering 17(67): 113-120. (In Persian with English abstract)

2- Abbasi F., Sohrab F., and Abbasi N. 2018. Water productivity in agriculture; challenges and perspectives. Water and Sustainable Development 5(1): 141-144. (In Persian with English abstract)

3- Bagheri A., Nikouei A.R., Khodadad Kashi F., and Shokat Fadaei M. 2017. Evaluation of water pricing policy on aquifer stability and preservation: Study of Northern Mahyar Plain Aquifer in Zayandeh-Rud Basin. Journal of Agricultural Economics and Development 31(2): 105-120. (In Persian)

4- Balali H., Khalilian S., and Ahmadian M. 2010. Analysis of impacts of irrigation water pricing on groundwater balance. Journal of Agricultural Economics and Development 24(2): 185-194. (In Persian)

5- Barikani E., Ahmadian M., and Khalilian S. 2011. Optimal sustainable use of groundwater in agricultural sector: Case Study Subsector in Qazvin Basin. Journal of Agricultural Economics and Development 25(2): 253-262. (In Persian)

6- Dagnino M., and Ward F.A. 2012. Economics of agricultural water conservation: empirical analysis and policy implications. International Journal of Water Resources Development 28(4): 577-600.

7- Ding Y., and Peterson J.M. 2012. Comparing the cost-effectiveness of water conservation policies in a depleting aquifer: a dynamic analysis of the Kansas High Plains, Journal of Agricultural and Applied Economics, Southern Agricultural Economics Association 44(2): 1-12.

8- Farhadi Bansuleh B., and Sharifi M.A. 2008. Barley production function in the Karaj region based on four years of field research. First Conference on Applied Researches on Iranian Water Resources. Kermanshah. (In Persian with English abstract)

9- Foster T., Brozovic N., and Butler A.P. 2015. Analysis of the impacts of well yield and groundwater depth on irrigated agriculture. Journal of Hydrology 523: 86–96.

10- Golkar H.R. 1998. Determining of wheat production function and study of the effect of water stress on yield in Karaj region. Master’s thesis. Department of Irrigation and Reproduction, College of Agriculture, University of Tehran. (In Persian with English abstract)

11- Hosseini S.S., Pakravan M.R., Gilanpour O., and Atghayi M. 2012. Investigating the effects of protection policy on agriculture sector TFP. Journal of Agricultural Economics and Development 25(4): 507-516. (In Persian with English abstract)

12- Huffaker R., and Whittlesey N. 2003. A theoretical analysis of economic incentive policies encouraging agricultural water conservation. Water Resources Development 19(1): 37–55.

13- Kahil M.T., Connor J.D., and Albiac J. 2015. Efficient water management policies for irrigation adaptation to climate change. Ecological Economics, 120: 226–233.

14- Johnson, J., Johnson, P.N., Segarra, E. and Willis, D. 2009. Water conservation policy alternatives for the Ogallala aquifer in Texas. Water Policy 11: 537–52.

15- Lecina S., Isidoro D., Playán E., and Aragüés R. 2010. Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón. Agricultural Water Management 97(10): 1663-1675.

16- Malek K., Adam J., Stockle C., Brady Michael and Rajagopalan K. 2018. When should irrigators invest in more water-efficient technologies as an adaptation to climate chang. Water Resources Research 54(11): 8999-9032.

17- Martin D.L., Watts D.G., and Gilley J.R. 1984. Model and Production Function for Irrigation Management. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 110(2): 149–164.

18- Ministry of Agriculture Jihad. Department of soil and water. Group for development of irrigation- drainade systems. Instructions on the payment of facilities (grants) for the implementation of under pressure irrigation systems. (In Persian)

19- Najafi Alamdarlo H., Ahmadian M., and Khalilian S. 2012. Economic Assessment of Groundwater Pricing Policy in Varamin Plain. Journal of Economics and Agricultural Development 5(3): 137-154. (In Persian with English

abstract)
20- Naseri N., Abbasi F., and Akbari M. 2017. Estimating agricultural water consumption by analyzing water balance. Irrigation and Drainage Structures Research Engineering 18(68): 17-32. (In Persian with English abstract)
21- Office of Basic Water Resources Studies. Groundwater group products. Iran water resources Management Company. Ministry of energy. Hydrograph representing aquifers in the country. (In Persian)
22- Peterson J.M., and Ding Y. 2005. Economic adjustments to groundwater depletion in the high plains: Do water-saving irrigation systems save water? American Journal of Agricultural Economics 87(1): 147–159.
23- Pfeiffer, L. and Lin, C.Y.C. 2014. Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. Journal of Environmental Economics and Management 67: 189–208.
24- Plan and budget organization. Information base of the sixth development plan. The law of Sixth Five-Year Development Plan of the Islamic Republic of Iran. 2018. (in Persian) https://plan6.mporg.ir
25- Plan and budget organization. Technical and executive system of the country. Issue number 261. Criteria for technical irrigation under pressure (General technical specifications). (In Persian)
26- Quintana-Ashwell N.E. 2013. The impact of irrigation capital subsidies on common-pool groundwater use and depletion: results for Western Kansas.
27- Quintana-Ashwell N.E. and Peterson J.M. 2015. Aquifer depletion in the face of climate change and technical progress. 2015 AAEA & WAEA Joint Annual Meeting, July 26-28, San Francisco, California.
28- Quintana-Ashwell N.E., and Peterson J.M. 2016. The impact of irrigation capital subsidies on common-pool groundwater use and depletion: results for Western Kansas, Water Economics and Policy 1(3): 1-22.
29- Scheierling M.S., Young R.A., and Cardon G.E. 2006. Public subsidies for water-conserving irrigation investments: hydrologic, agronomic, and economic assessment. Water Resources Research 42(3): 1-11.
30- Tewari, R. et al., 2014. Multi-year water allocation: an economic approach towards future planning and management of declining groundwater resources in the Texas Panhandle. Texas Water Journal, 5(1):1-11.
31- Vahdat Adab R., and Balali H. 2017. Impacts of irrigation water pricing and government’s financial facility policies on pressurized irrigation technology adoption: Case Study of Hamedan. Journal of Agricultural Economics and Development 30(4): 331-344. (In Persian)
32- Ward F.A. 2014. Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. Journal of Hydrology 508: 114-127.
33- Ward F.A. and Pulido-Velazquez, M. 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences 105(47): 18215–18220.
34- Wheeler, Segarra E., Johnson P.N., and Willis D. 2006. Economic and Hydrologic Implications of Selected Water Policy Alternatives for the Southern Ogallala Aquifer., 19 July 2006, 21 of the UCOWR Conference.
35- Wheeler E., Golden B.B., Johnson J., and Peterson J. 2008. Economic Efficiency of Short-Term Versus Long-Term Water Rights Buyouts. Journal of Agricultural & Applied Economics 40(2):
36- Yekom Consulting Engineers. 2001. Studies of updating the comprehensive water plan of the country in the salt lake basin. Tehran. (In Persian)
37- Zare Sh., Mohammadi H., and Sabouhi M. 2017. Simulation of developing modern irrigation systems on groundwater resources balance of Khorasan Razavi. Journal of Agricultural Economics and Development 31(2): 179-195. (In Persian)
38- Zare S., Mohammadi H., Sabouhi M., Ahmadpour Borazjani M. and Mohaddes Hoseini S.A. 2018. Investigating the impact of price policy and investment in water saving technologies, on the deficits of groundwater reserves and social costs in Khorasan Razavi Province. Journal of Agricultural Economics 12(3): 97-133. (In Persian with English abstract)
39- Zou X., Li Y., Cremades R., Gao Q., Wan Y., and Qin X. 2013. Cost-effectiveness analysis of water-saving irrigation technologies based on climate change response: A case study of China. Agricultural Water Management 129: 9–20.

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 33, No. 2, Summer 2019, p. 205-220

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۲۲۰-۲۰۵

The Cost-effectiveness Evaluation of the Grant Policy for under Pressure Irrigation Systems in Conservation of Groundwater Resources

M.A. Roshanfar[1]- H. Amirnejad*[2]- H. Najafi Alamdarlo[3]- B. Nazari[4]
Received: 08-05-2019
Accepted: 30-07-2019

Introduction: Today, governments have to adopt different policies to offset water scarcity and balance groundwater resources. Among the policies that have been emphasized in this regard, are subsidies and incentive payments to use modern irrigation technology. In Iran, the policy of grants for under pressure irrigation systems is mentioned in the budget law of the country. It is generally believed that the implementation of this policy can save water and would lead to the conservation of groundwater resources. But, in practice this issue has not yet been proven. It is generally believed that the implementation of this policy can save water and lead to the conservation of groundwater resources. But, in practice this issue has not yet been proven. So, the Qazvin plain as one of the biggest and the depleting aquifers in Iran is selected as case study.

Materials and Methods: Since, the irrigation water is supplied through the canal in the modern irrigation network area and the agricultural wells in the traditional cultivations, the objective function of the dynamic programming model is considered to maximize the net present value of cultivating in the irrigation network area and the land of Qazvin plain area. The crop yield in the objective function of the model is the functional of the quantity of water available for plant, which is expressed in the quadratic form. The groundwater pumping costs were considered as a function of pump lift. By pumping groundwater, the saturated thickness would decrease in two area. Therefore, the equation of the groundwater balance was formed to allow changes in aquifer stock from one period to another. The components of this equation were considered as the difference in the inflow to the aquifer from the outflow of the aquifer. The maximum groundwater extraction in the model is limited to the natural capacity of pumping from wells and access to the canal water is confined by the long-term average canal water. It is named the first scenario. The upper limit of access to canal water that supplied from combined wells and artificial recharge was simulated according to rainfall variations and then its average long-term value was calculated. For this purpose, the probability of occurrence of dry, normal and wet years was calculated by the standard precipitation index (SPI) using monthly data of 60 years.

Results and Discussion: This paper presents an analytic model of the effectiveness of groundwater conservation policies on irrigated agriculture in Qazvin plain such as grant for under pressure irrigation systems. The results indicated that by increase in the share of grant, the groundwater used per hectare in the modern irrigation system is lower than the flood irrigation system and gradually the modern system is chosen instead of the flood system. With increasing share of grant the yield and net profit will be increased for each crop until the yield reaches saturation. The results showed that in the whole area, by increasing the share of grant, total water consumption and total groundwater are decreasing and so water will be saved. On the other hand, by increasing the share of grant, the deep percolation into the depth decreases. Investigating the groundwater balance showed that in the normal conditions, the increase in the share of grant cause to increase aquifer stock deficit and reduce the groundwater head and saturated thickness. The empirical findings in Qazvin plain showed that the long term average of the aquifer's reservoir volume is decreasing with increasing the share of grants. In the final, the cost effectiveness analysis (CEA) was calculated for total saved water and the aquifer stock to the total amount of government payments.

Conclusion: A review of the effect of grant policy for investing in the modern irrigation systems on the water use was considered efficient on saving water. It means that with increasing the share of grant the overall water saving in the area will increase. But, the implementation of this policy does not conserve groundwater resources. So, for each a million tomans payment, 665 and 598 cubic meters of water are saved, respectively. However, this policy is not effective for the conserve of groundwater resources because in the share of 100% for

1 and 2- Ph.D. Graduated and Associate Professor of Agricultural Economics Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Respectively
(*- Corresponding Author Email: amirnejad@yahoo.com)
3- Assistant Professor of Agricultural Economics Department, Tarbiat Modares University
4- Assistant Professor of Faculty Technical and Engineering, Imam Khomeini International University

each a million tomans payment, the aquifer stock is reduced to 2912 cubic meters. As a final remark, it is suggested that grant policy be accompanied by a limitation on groundwater pumping and crop pattern.

Keywords: Cost-effectiveness, Dynamic programming, Grant policy, Qazvin plain, Under pressure irrigation systems